

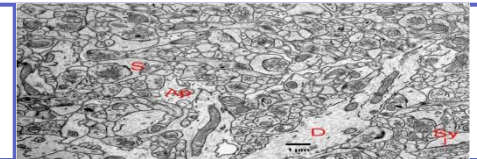
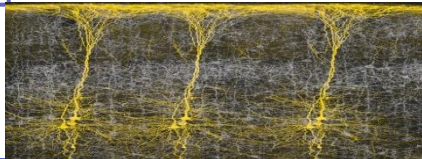
Prof. Dr.-Ing. Ralf Otte
ゲスト：大阪万博
2025年8月18日
ralf.otte@thu.de
ralfotte.com

Prof. Dr.-Ing. Ralf Otte
guest at the
World Expo Osaka, Japan
on August 18, 2025
ralf.otte@thu.de
ralfotte.com



**Can robots have
consciousness?**

ロボットに意識はあるのか？



Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか?

Brief introduction of the speaker - スピーカーの簡単な紹介

- ドイツ、ウルム大学オートメーション・AI教授職
- 30年以上にわたり、世界中で100以上のAIプロジェクトを実施

• 研究活動

- 機械上の意識（意識に関するチューリングテスト）
- 量子コンピューターと光コンピューターのAI
- 自然環境における産業用スモールデータAI

- Professorship for Automation and AI, Ulm University, Germany
- Over 100 AI-projects worldwide over 30 years
- Dedicated AI Books: Data Mining for Industrial Practice, 2004; System Theory of the Mind, 2016; AI for Dummies, 2019 and 2023; From Data Mining to Big Data, 2020; Machine Consciousness, 2021; AI - Illusion and Reality, 2024
- Research work
 - Consciousness on machines (Turing test-on-consciousness)
 - AI on quantum computers and optical computers
 - Small data AI for industrial applications in a natural environment

Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか?

Overview of the presentation - プレゼンテーションの概要

1. **Introduction, definitions and examples**
2. Problems that can and cannot be solved with AI - the limits of software-based AI
3. What is consciousness?
4. Consciousness of robots
5. Outlook: The AI of tomorrow

1. はじめに、定義と例
2. AIで解決できる問題とできない問題 - ソフトウェアベースのAIの限界
3. 意識とは何か？
4. ロボットの意識
5. 展望：明日のAI

Introduction and definitions - はじめにと定義

What actually is AI? - AIとは何か？

•「人工」とは何か？

- 物理的-技術的（コンピュータ：フォン・ノイマン構造対ニューロモーフィック・アーキテクチャ／デジタル対アナログ）
- 化学的（無機物から有機物へ）
- 生物学的（生きた生体細胞から神経細胞へ、そして人間の脳とリンクするDNAコンピュータへ）

•「知的」とは何を意味するのか？

- レベル1：論理的知性（演繹的知性） ☐ 思考
- レベル2：学習的知性（帰納的知性） ☐ 学習
- レベル3：合理的知性（認知的知性） ☐ 創造性

■ What is meant by "artificial"?

- physical-technical (computer: von Neumann structure vs. neuromorphic architectures / digital vs. analog)
- chemical (from inorganic to organic)
- biological (from living biological cells to nerve cells to linking with the human brain, DNA computer)

■ What is meant by "intelligent"?

- Level 1: Logical intelligence (deductive intelligence) → Thinking
- Level 2: Learning intelligence (inductive intelligence) → Learning
- Level 3: Rational intelligence (cognitive intelligence) → Creativity



Introduction and definitions - はじめにと定義

Classification of intelligence - 知能の分類

	Intelligence Level	Examples	Remarks
1	Deductive	Calculator	Fully mathe- matizable
2	Inductive	Deep Learning	
3	Cognitive	Watson AlphaZero ChatGPT	
4	Perceptual	Neuro- morphic	Physically feasible
5	Self Conscious	?	
6	Emotional	Biological cells	Biologically feasible
7	Willing	Animals	
8	Self- reflective	Humans	

↑
R
e
s
e
a
r
c
h
↓

	知能レベル	例	備考
1	演繹的	電卓	完全に行列 化可能
2	誘導性	ディープラ ーニング	
3	認知的	Watson AlphaZero ChatGPT	
4	知覚的	神経形態	物理的に可 能
5	自意識過剰	?	
6	エモーショ ナル	生物細胞	生物学的に 可能
7	意欲的	動物	
8	自己反省的	人間	

Introduction and definitions - はじめにと定義

AI - status today - AI - 今日の状況

- 2025年には、強力なAIも、意識や感情や意志を持ったAIも存在しない。シンギュラリティの可能性は、ずっと先のことだ。
- 弱いAIはレベル3のソフトウェアAIであり、数学の「賢い」応用である。
- 今日のAIの多くは機械学習（ディープラーニング）に基づいている
- 弱いAIは、思考や学習、そしてある程度の創造性をシミュレートすることに優れている。
 - AIは、いくつかの下位分野では人間より「賢い」。ゲームの世界：チェス、囲碁、デジタルデータ分析：ビッグデータ。AIは他の下位分野では人間より「頭が悪い」。ほとんどすべての日常的事業では「より愚か」である：運転、スーパーマーケットでの買い物、テーブルの片付け、映画の話、世間話、創造性と発明
- 今日のソフトウェアAIは「数学的空間」で働く。数学化できるもの（工場プロセス、ゲーム、インターネット上の行動など）はすべて、AIによって分析され、最適化される。

- In 2025, there will be no strong AI, no AI with consciousness, feelings and a will. A possible singularity is a long way off.
- Weak AI is a level 3 software AI and a "smart" application of mathematics.
- Much of today's AI is based on machine learning (deep learning)
- Weak AI is excellent at simulating thinking, learning and, to some extent, creativity.
 - AI is "smarter" than humans in some sub-disciplines. Game world: chess, GO or digital data analysis: big data. AI is "dumber" than humans in other sub-disciplines. "Dumber" in almost all everyday things: Driving, shopping at the supermarket, clearing tables, talking about movies, small talk; creativity & inventions
- Today's software AI works in "mathematical space". Anything that can be mathematized (factory processes, games, behaviour on the internet...) can be analysed and optimized by AI.

Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか?

Overview of the presentation - プレゼンテーションの概要

1. Introduction, definitions and examples
2. **Problems that can and cannot be solved with AI - the limits of software-based AI**
3. What is consciousness?
4. Consciousness of robots
5. Outlook: The AI of tomorrow

1. はじめに、定義と例
2. AIで解決できる問題
とできない問題 - ソフトウェアベースのAIの限界
3. 意識とは何か?
4. ロボットの意識
5. 展望：明日のAI

Problems that can and cannot be solved with software AI

ソフトウェアAIで解決できる問題とできない問題

1. Very solvable problems (big data)

- a. Universal approximators
- b. Universal image processing
- c. Universal language processing

2. Problems that are difficult to solve

- a. Small data problems
- b. Problem of the generalization of learning outcomes
- c. Extrapolation problems

3. Unsolvable problems

- a. Problems of semantics
- b. Problems of thinking
- c. Problems of perception
- d. Problems of qualifying the perception

•非常に解きやすい問題（ビッグデータ）

- 普遍的近似値
- 普遍的画像処理
- 普遍的言語処理

•解きにくい問題

- スモールデータ問題
- 学習成果の汎化の問題
- 外挿問題

•解けない問題

- 意味論の問題
- 思考の問題
- 認識の問題
- 認識の修飾の問題

ソフトウェアAIで解決できる問題とできない問題

Taxonomy of problem classes - 問題クラスの分類法

1. Very solvable problems (big data)

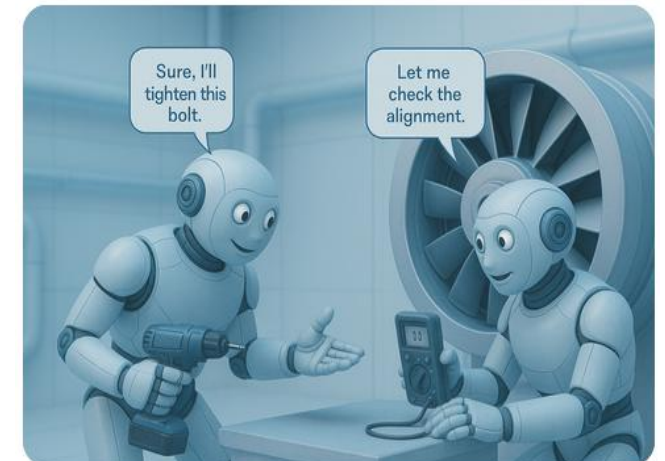
- a. Universal approximators
- b. Universal image processing
- c. Universal language processing

2. Problems that are difficult to solve

- a. Small data problems - 小さなデータ問題
- b. Problem of the generalization of learning outcomes - 学習成果の一般化の問題
- c. Extrapolation problems - 外挿問題

3. Unsolvable problems

- a. Problems of semantics
- b. Problems of thinking
- c. Problems of perception
- d. Problems of qualifying the perception



Images are made with chatgpt, April 2025

ソフトウェアAIで解決できる問題とできない問題

Taxonomy of problem classes - 問題クラスの分類法

1. Very solvable problems (big data)

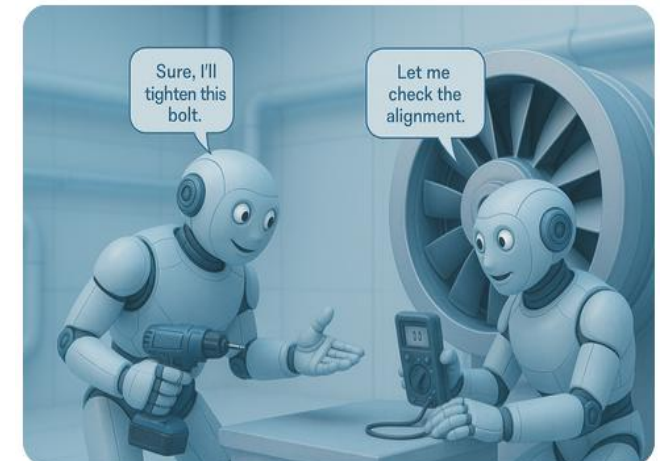
- a. Universal approximators
- b. Universal image processing
- c. Universal language processing

2. Problems that are difficult to solve

- a. Small data problems
- b. Problem of the generalization of learning outcomes
- c. Extrapolation problems

3. Unsolvable problems - 解決不可能な問題

- a. Problems of semantics - 意味論の問題
- b. Problems of thinking - 思考の問題
- c. Problems of perception - 知覚の問題
- d. Problems of qualifying the perception - 認知の質に関する問題



Images are made with chatgpt, April 2025

Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか?

Overview of the presentation - プレゼンテーションの概要

1. Introduction, definitions and examples
2. Problems that can and cannot be solved with AI - the limits of software-based AI
3. **What is consciousness?**
4. Consciousness of robots
5. Outlook: The AI of tomorrow

1. はじめに、定義と例
2. AIで解決できる問題とできない問題 - ソフトウェアベースのAIの限界
3. **意識とは何か?**
4. ロボットの意識
5. 展望：明日のAI

緑色は脳のどこにある？

Where is the color green found in
the brain?

What is consciousness? - 意識とは何か？

What are the properties of (phenomenal) consciousness?

•仮定

- 意識は存在する。それは「想像」でも「エピフェノメノン」でもない
- 自然は階層的である：物理的、化学的、生物学的特性は互いに積み重なる
- 存在論的な存在を認めるなら、意識プロセスはどのような特性を持つのか？
 - この用語の一般的な定義は、学問分野によって多くの意味を持つ用法が異なるため、不可能である
 - 人文科学によれば、現象的意識とは（主観的な）精神状態、知覚、およびプロセスの経験である。
 - しかし、これは意識の再現を望む技術者の役には立たない。

1. Postulate

- Consciousness exists, it is not an “imagination” or an “epiphenomenon”
- Nature is hierarchical: physical, chemical, biological properties build on each other

2. What properties do consciousness processes have if one recognizes their ontological existence?

- A general definition of the term is not possible due to its different usage with numerous meanings depending on the discipline.
- According to the humanities, **phenomenal consciousness is the experience of (subjective) mental states, perceptions and processes.**
- However, this does not help the engineer who wants to recreate consciousness.

What is consciousness from a technical perspective?

技術的な観点から見た意識とは？

- 意識のような現象は、いわゆる「超複雑システム状態」として理解することができ、その基本的な特徴は超複雑理論の枠組みの中で数学的に定式化することができる。
- 意識のプロセスは、いわゆる「超複雑エネルギー」を持つ可能性がある。
- 超複雑エネルギーを持つ実体は、原理的に測定不可能であるため、非物質と呼ばれる。超複雑エネルギーは実在するが、通常とは異なる物理的振る舞いをする。
- 意識の現象は測定できないが、物質的なプロセス（脳組織）に影響を与えることができる。その影響は測定できる（意識に関するチューリング・テスト）。

1. **Phenomena such as consciousness can be understood as so-called “hypercomplex system states”** and their basic features can be formulated mathematically within the framework of a hypercomplex theory.
2. Consciousness processes could have so-called **“hypercomplex energy”**.
3. Entities with hypercomplex energy are called immaterial, as they are not measurable in principle. **They have a real existence, but unusual physical behavior.**
4. Although phenomena of consciousness cannot be measured, they can have an effect on material processes (brain tissue). The effects can be measured (Turing test on consciousness).

仮説

意識（心）は存在する自然現象だが
、測定可能な（実在する）ものは
なく、超複雑なエネルギーを持っ
ている。

Hypothesis

Consciousness (mind) is a natural
phenomenon that exists, but has
no measurable (real) but a
hypercomplex energy.

Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか?

Overview of the presentation - プレゼンテーションの概要

1. Introduction, definitions and examples
2. Problems that can and cannot be solved with AI - the limits of software-based AI
3. What is consciousness?
4. **Consciousness of robots**
5. Outlook: The AI of tomorrow

1. はじめに、定義と例
2. AIで解決できる問題とできない問題 - ソフトウェアベースのAIの限界
3. 意識とは何か?
4. **ロボットの意識**
5. 展望：明日のAI

Consciousness from a technical point of view

技術的観点から見た意識

Summary - 概要

- 今日のAIシステムはまだ意識を持っていない。
- しかし、自然界はすでに無機システムにおいて非物質的な基本現象を提供している。数学的な観点からは、量子過程が存在するだけでよい。
- AIは物理的に具現化されなければならない。
- ニューロモーフィック・コンピュータはこれに適している。

- Today's AI systems **do not yet have consciousness.**
- However, nature already provides immaterial basic phenomena in inorganic systems. From a mathematical point of view, **just the existence of quantum processes is necessary.**
- AI must be physically embodied.
- **Neuromorphic computers are suitable for this.**

Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか?

Overview of the presentation - プレゼンテーションの概要

1. Introduction, definitions and examples
2. Problems that can and cannot be solved with AI - the limits of software-based AI
3. What is consciousness?
4. Consciousness of robots
5. **Outlook: The AI of tomorrow**

1. はじめに、定義と例
2. AIで解決できる問題とできない問題 - ソフトウェアベースのAIの限界
3. 意識とは何か?
4. ロボットの意識
5. 展望：明日のAI

The AI of tomorrow - 明日のAI

Why a new AI – Current AI is too expensive, need too much energy, too hungry for data

なぜ新しいAIなのか - 現在のAIは高価で、エネルギーを必要とし、データに貪欲すぎる。

- 古典的なAIのビッグデータコンセプトは、コストと依存関係をますます増大させる。
 - AIの自由パラメータを学習させるには、膨大な学習データが必要だ。
ChatGPT4.0には1兆個の自由パラメータがある。ビッグデータは高価で、エネルギー消費量も大きい。
 - ビッグテックへの依存を減らし、持続可能で低エネルギーなAI技術を開発する新しい方法を見つける必要がある。
- ニューロモーフィックAIは、AIのエネルギー消費を削減し、業界におけるスモールデータの問題を解決する一つの方法である。

1. The big data concept of classic AI leads to ever higher costs and dependencies.
 - You need a huge amount of learning data to train the free parameters of an AI. ChatGPT4.0 has 1 trillion free parameters. Big data is expensive and has a huge energy consumption.
 - We need to **find new ways** to reduce our dependence on big tech and develop sustainable and low-energy AI technologies.
2. **Neuromorphic AI is one way to reduce the energy consumption of AI and solve small data problems in the industry.**

Can robots have consciousness? ロボットは意識を持つことができるか

YES, pure physical consciousness could be possible!

そう、純粋な肉体意識は可能なのだ！

- 今日のソフトウェアAI（AIの第3の波）は、思考、学習、創造性をシミュレートすることができる。
- 今日のAIはまだ意識を持っていないが、量子コンピューターや光子コンピューターを使えば、そのようなマシンを作ることが可能になるだろう。
- もしAIマシンが生物細胞で強化されれば、人類に重大なリスクをもたらす。
- トランスヒューマニズム（人間と機械の融合）は間違いであり、技術的に失敗する。
- 2030年までに、今日の（数学的）AIはニューロモーフィック（物理的）AIへと進化する。

1. Today's software AI (3rd wave of AI) can simulate thinking, learning and creativity so well that you might think these machines can actually think and learn.
2. Today's AI does not yet have consciousness, but it will be possible to build such machines using quantum or photon computers.
3. If AI machines are enriched with biological cells, they pose a significant risk to humanity.
4. Transhumanism (the merging of man/machine) is a mistake and will technically fail.
5. By 2030, today's (mathematical) AI will have evolved into neuromorphic (physical) AI.